

# 동적안정성을 고려한 3경간 연속 중로식 강 Arch 교량의 Rise 비

## The Rise Ratio of the 3 Continuous Span Length Steel Arch Bridges Considering Dynamic Stability

강 성 후\*                      박 선 준\*\*                      최 명 기\*\*\*  
Kang, Sung-Hoo              Park, Sun-Joon              Choi, Myeong-Ki

### Abstract

The most important element is a rise ratio when regarding beauty and economics of arch bridges. Only the effect of dead load has been considered to decide the rise ratio. In this study, when going over the rise ratio of arch bridges, examined the problems, that the determination of the rise ratio by the dead load has, by adding the factor of a determination of optimum rise ratio, which is not only the effect of the dead load that has been currently considered but also the problem with respect to dynamic stability that is now taken seriously. Synthetically, when deciding rise ratio that is investigated in basic step of design, it is necessary to consider the evaluation dynamic stability.

### 요 지

아치교량의 미관과 경제성을 고려할 때 가장 중요한 요소가 라이즈 비이며, 이러한 라이즈 비를 결정하는데 있어 현재는 자중에 의한 영향만을 고려하고 있다. 본 연구에서는 아치교량의 라이즈 비 검토시 현재 고려하고 있는 자중에 의한 영향뿐만 아니라 최근 중요시 되고 있는 지진하중에 대한 동적안정성 문제를 라이즈 비 결정인자로 추가하여 자중에 의한 라이즈 비 결정이 가지고 있는 문제점에 대하여 검토하였다. 그 결과 라이즈 비 선정시 지진하중에 대한 동적안정성은 필히 고려되어야 할 것으로 판단되었다.

**Keywords** : Arch Bridge, Rise Ratio, Dynamic Stability, Earthquake Resistant Dynamic Stability  
Division Ratio of Top and Bottom

**핵심 용어** : 아치교량, 라이즈 비, 동적안정성, 내진안정성, 상·하 분배비율

\* 정회원, 동신대학교 토목공학과 교수, 공학박사  
\*\* 정회원, 동신대학교 토목공학과 전임강사, 공학박사  
\*\*\* 정회원, 성화대학 토목환경과 조교수, 박사과정수료

E-mail : c95019@empal.com 011-9614-0361

•본 논문에 대한 토의를 2004년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2005년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서론

1960년대 이후 교량은 기능으로서의 문제뿐만 아니라 미관으로서의 역할도 중요시되어 왔다. 하지만, 미관을 고려한 설계에서 필수적으로 고려되어야 하는 문제가 안정성과 경제성이며, 안정성 측면에서 볼 때 아치타입의 교량은 가장 안정한 구조 형식중의 하나이다.<sup>(1)</sup> 아치교는 구조물의 독특한 곡선의 아름다움과 하중에 의한 수평반력을 효과적으로 분배할 수 있어 최근 중앙 경간이 70~200m 이상 요구되는 장대교량에서 주변 지역 환경과의 조화 측면에서 많이 설계·시공되고 있는 추세이다. 아치교량의 미관과 경제성을 고려할 때 가장 중요한 요소가 라이즈 비이다.<sup>(7)</sup> 이러한 라이즈 비를 결정하는데 있어 현재는 자중에 의한 영향만을 고려하고 있고, 아직까지 아치 타입 교량의 라이즈 비 선정에 있어 그 결정인자에 대한 명확한 기준과 영향 검토가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 3경간 연속 중로식 강아치 교량의 라이즈 비 검토시 현재 고려하고 있는 자중에 의한 영향뿐만 아니라 최근 중요시되고 있는 지진하중에 대한 동적안정성 문제를 라이즈 비 결정인자로 추가하여, 라이즈 비와 상·하 분배비율 변화에 따른 수정 설계단면력과 관계를 검토하므로써, 라이즈 비가 동적안정성에 미치는 영향에 대하여 분석하여, 3경간 연속 중로식 강아치교량의 라이즈 비와 Tie Girder에 의한 상·하 분배비율을 선정하는데 목적이 있다. 본 연구에서 정의하는 동적안정성이란 지진하중에 대한 3경간 연속 중로식 강 아치 교량 구조물의 안정성 검토를 대상으로 한다.

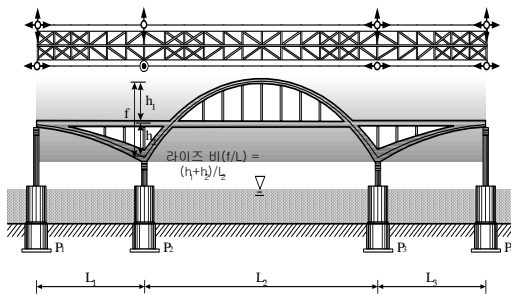


Fig. 1 3 |간 연속 중로식 아치교 종단면도

## 2. 해석모델

### 2.1 일반제원

본 논문의 대상교량은 총 연장길이 240m(60m+120m+60m)인 3경간 연속 중로식 아치교로써, 일반 제원과 구조형식은 Table 1, Fig. 1, 2와 같으며, 라이즈 비와 상·하 분배비율 변화에 따른 40가지 Type의 교량 제원은 Table 2와 같다.

아치교량의 라이즈 비( $f/L$ )란 Fig. 1에 나와 있는 것처럼 아치의 높이(라이즈,  $f=h_1+h_2$ )와 지간( $L_2$ )의 비를 말하며, Tie Girder에 의한 상·하 분배비율은 하부 라이즈에 대한 상부 라이즈의 비, 즉  $h_1/h_2$  을 의미한다.

중로식 아치교량의 라이즈 비와 Tie Girder에 의한 상·하 분배비율 등에 대한 설계기준은 현재까지 전무한 실정이며, 설계시 보통 라이즈 비는 각 형식에 관계없이 0.1에서 0.2까지가 일반적으로 많이 쓰이고 있으며, Tie Girder에 의한 상·하 분배비율은 보통 1.5를 많이 사용하고 있다.<sup>(1),(9)</sup>

본 연구에서는 3경간 연속 중로식 강아치 교량의 라이즈 비와 상·하 분배비율이 동적안정성에 미치는 영향을 검토하기 위하여, 라이즈 비를 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.275, 0.3, 0.35, 0.4의 8가지 Type으로 변화시켰고, 또한 각각의 라이즈 비에 대하여 Tie Girder에 의한 상·하 분배비율을 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0의 5가지 Type으로 변화시켜 고정지점인 교각  $P_2$ 의 수정 설계단면력을 비교 분석하였다.

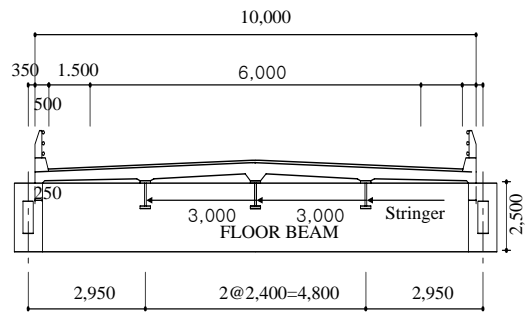


Fig. 2 3 |간 연속 중로식 아치교 횡단면도

Table 1 대상 교량의 일반제원

구조형식	상부구조	중로형 강재 아치교
	교각구조	철근 콘크리트 교각
	하부구조	콘크리트 우물통 기초
사용강재	주부재( )	SM 520
	부부재( )	SM 490
지간구성	240m = 60m+120m+60m	
교량폭원	11.9m ( : 10.0m)	
설계하중	DB-24, DL-24	

Table 2 라이즈 비에 따른 교량제원

//L	d	f (m)	h1 (m)	h2 (m)	//L	d	f (m)	h1 (m)	h2 (m)
	1.5	7.2	4.8		1.5		19.8	13.2	
	2.0	8.0	4.0		2.0		22.0	11.0	
	2.5	8.6	3.4		2.5		23.6	9.4	
	3.0	9.0	3.0		3.0		24.8	8.3	
0.15	1.0	9.0	9.0	0.3	1.0	36	18.0	18.0	
	1.5	10.8	7.2		1.5		21.6	14.4	
	2.0	12.0	6.0		2.0		24.0	12.0	
	2.5	12.9	5.1		2.5		25.7	10.3	
	3.0	13.5	4.5		3.0		27.0	9.0	
0.2	1.0	12.0	12.0	0.35	1.0	42	21.0	21.0	
	1.5	14.4	9.6		1.5		25.2	16.8	
	2.0	16.0	8.0		2.0		28.0	14.0	
	2.5	17.1	6.9		2.5		30.0	12.0	
	3.0	18.0	6.0		3.0		31.5	10.5	
0.25	1.0	15.0	15.0	0.4	1.0	48	24.0	24.0	
	1.5	18.0	12.0		1.5		28.8	19.2	
	2.0	20.0	10.0		2.0		32.0	16.0	
	2.5	21.4	8.6		2.5		34.3	13.7	
	3.0	22.5	7.5		3.0		36.0	12.0	

여기서,

//L : 라이즈 비

d : Tie Girder | 의한 상 · 卜 분배비율

f : (h<sub>1</sub>+h<sub>2</sub>)

h<sub>1</sub> : (m)

h<sub>2</sub> : (m)

L : (L<sub>1</sub> : 60m, L<sub>2</sub> : 120m, L<sub>3</sub> : 60m)

## 2.2 해석 모델링

해석 교량 모델링은 Fig. 3과 같이 범용 구조해석 프로그램인 MIDAS CIVIL (ver 5.8.0)을 이용하여수행하였다.<sup>(16)</sup> 상부구조의 Arch Rib, Tie Girder, Floor Beam, Stringer, Hanger, Bracing을 각각 Frame 요소로 모델링 하였다. 하부구조는 강체로 거동하는 것으로 간주하여 우물통 기초 하단을 지점으로 모델링하였

으며, 상부구조물의 자중은 강제연결을 통하여 하부구조에 전달되도록 모델링하였다.<sup>(3),(9)</sup> 아치교는 단순교량의 범주에 속하지 않으므로 지진해석시 복합모드 스펙트럼 해석법을 적용하였고, 해석에 고려한 모드수는 질량기여도를 고려하여 70개의 모드를 고려하였다. 본 연구의 목적이 아치교량의 최적 라이즈 비와 Tie Girder에 의한 상·하 분배비율을 선정하는데 목적이 있고, 또한 SRSS 방법과 CQC (Complete Quadratic Combination) 방법과의 해석결과값 차이가 크지 않으므로 복합모드 해석에 의한 최대 응답치는 SRSS(Square Root of Sum of Squares)방법에 의하여 조합하였다.

또한, 「도로교설계기준」에 제시되어 있는 지진구역계수 0.07, 0.11과 위험도계수 1.0, 1.4에 대한 각각의 경우를 조합하여 가속도계수(A)를 산정한 후 지진해석을 수행하였다.

풍하중에 대한 해석은 정적 풍하중에 대해서만 검토하였다. 정적 풍하중에 대한 해석은 「도로교설계기준」에서 제안된 식에 의하여 풍하중 P(kgf)를 구하고 이를 모델링 교량에 적용하였다. 라이즈 비와 Tie Girder에 의한 상·하 분배비율 변화에 따른 교각부 교축직각방향 수평반력의 변화를 비교검토하였다.

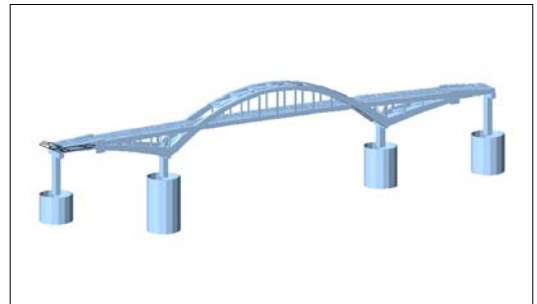


Fig. 3 해석 모델링

## 3. 해석결과

### 3.1 강중의 변화

3경간 연속 중로식 아치교의 라이즈 비(f/L)와 강중과의 상호 관계를 알아보고자, 일정한 강성비와 형고비를 갖춘 기준단면을 40가지 Type에 대하여 동일하

Table 3 강재량과 강중

라이즈 비		단위 : (tonf), (tonf/m <sup>2</sup> )								강중의 추정식
		0.1	0.15	0.2	0.25	0.275	0.3	0.35	0.4	
1.0	강재량	1911.3	1952.1	2000.6	2055.6	2085.2	2116.0	2180.9	2249.6	$y = ae^{bx}$ 라고 할때 $a = 0.63052$ $b = -0.0142d + 0.5559$ ( $R^2 = 0.978$ )  여기서, $x$ : 라이즈 비 $y$ : 강중(tonf/m <sup>2</sup> ) $d$ : Tie Girder   의한 상·하분배비율
	강 중	0.669	0.684	0.700	0.720	0.730	0.741	0.764	0.788	
1.5	강재량	1906.8	1946.2	1992.7	2045.1	2073.3	2102.5	2164.1	2229.0	
	강 중	0.668	0.681	0.698	0.716	0.726	0.736	0.758	0.780	
2.0	강재량	1903.4	1942.0	1987.3	2038.2	2065.5	2093.9	2153.4	2216.1	
	강 중	0.666	0.680	0.696	0.714	0.723	0.733	0.754	0.776	
2.5	강재량	1902.3	1940.2	1984.5	2034.2	2060.9	2088.5	2146.5	2207.5	
	강 중	0.666	0.679	0.695	0.712	0.722	0.731	0.752	0.773	
3.0	강재량	1902.2	1939.3	1982.6	2031.3	2057.2	2084.2	2140.8	2200.3	
	강 중	0.666	0.679	0.694	0.711	0.720	0.730	0.750	0.770	

게 적용하였다. 동일한 단면일 경우에도 설계하중에 대한 부재의 안전여유 변화는 미비하므로, 라이즈 비를 결정하는 초기 단계에서 구조적인 큰 의미는 없을 것으로 판단된다. 라이즈 비( $f/L$ )는 아치교의 강중에 중대한 영향을 미치므로 Table 2와 같이 지간길이( $L_2$ )는 일정하게 고정하고 상하부 라이즈( $h_1, h_2$ )만 변화시켜 가면서 라이즈 비 변화에 따른 소요 강재량과 경제성 분석을 위한 상판면적 1m<sup>2</sup>당 사용 강중과의 상호 관계를 고찰하였다. 강중은 범용 구조해석 프로그램인 MIDAS/ CIVIL 해석결과 각 지점의 수직반력의 합을 상판면적으로 나누어 산정하였으며<sup>(7),(8)</sup>, 상판면적 산정시 Fig. 1, 2의 교량길이(240m)와 교량폭원(11.9m)을 사용하였다. 3경간 연속 중로식 아치교량의 주부재(아치리브, 보강형등)와 부부재(가로보, 세로보등)는 SM 520과 SM 490의 강재를 사용하였다. 라이즈 비가 0.1에서 0.4까지 증가할 때 강재량과 강중은 증가하는 결과를 보였다. 또한, Tie Girder에 의한 상하 분배비율이 1.0에서 3.0까지 증가할 때 강재량과 강중은 감소하는 결과를 보였다. 즉, 강재량과 강중이 증가함은 경제성 측면에서 불리하다는 것을 의미한다. 라이즈 비 증가에 따른 강재량과 강중의 증가 원인은 아치 리브와 기타부재가 증가하기 때문으로 판단된다. 또한 상하 분배비를 증가에 따른 강중의 감소 원인은 Tie Girder와 기타부재가 감소하기 때문으로 판단된다. 최대 강중은 라이즈 비 0.4, 상하 분배비율 1.0일때 0.788tonf/m<sup>2</sup>으로 분석되었으며, 최대 강재량은 2249.6tonf로 분석되었다. 따라서, 3경간 연속 중로식

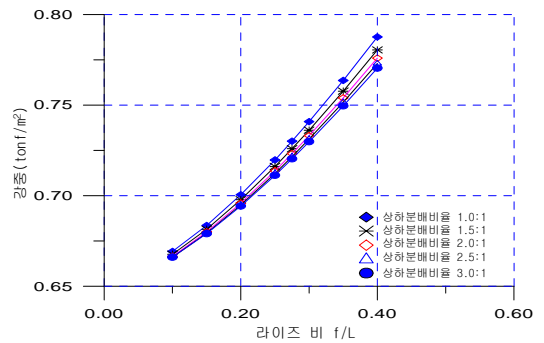


Fig. 4 상·하 분배비율

아치교량의 강재량과 강중을 고려한 라이즈 비 선정시 라이즈 비는 작은 값을, Tie Girder에 의한 상·하 분배비율은 큰 값을 가지도록 선정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. Table 3의 추정식은 강중을 결정하는데 영향을 미치는 많은 변수들을 생략한 상태에서 라이즈 비와 상·하 분배비율만을 고려한 추정식을 제안하였다.

### 3.2 고유주기의 변화

고유치 해석이란 구조물의 자유진동 해석을 통하여 고유진동수와 모드를 결정하는 것이다. 고유진동수 및 고유진동 모드는 일반적으로 구조물이 갖는 자유도수에 상당하는 개수만큼 구해진다. 지진해석시 일반적으로 가장 긴 고유주기(1차 고유주기)가 구조물의 진동 응답에 대해서 지배적이며 중요하다.<sup>(10)</sup> 「도로교설계

Table 4 고유주기

구분	상·하 분배비율(d)	고유주기(sec)								라이즈비에 따른 최대 증감률(%)
		0.1	0.15	0.2	0.25	0.275	0.3	0.35	0.4	
교축방향 (x)	1.0	1.831	1.865	1.902	1.953	1.984	2.017	2.089	2.172	18.62
	1.5	1.771	1.837	1.867	1.903	1.923	1.947	2.000	2.058	16.21
	2.0	1.721	1.799	1.852	1.877	1.893	1.910	1.95	1.996	15.98
	2.5	1.686	1.772	1.835	1.859	1.876	1.890	1.922	1.959	16.19
	3.0	1.661	1.752	1.805	1.850	1.862	1.876	1.904	1.935	16.50
교축 직각방향 (y)	1.0	0.939	0.965	0.980	0.989	0.993	0.997	1.002	1.004	6.92
	1.5	0.934	0.961	0.978	0.987	0.991	0.994	1.000	1.003	7.39
	2.0	0.930	0.957	0.973	0.985	0.989	0.992	0.999	1.002	7.74
	2.5	0.926	0.952	0.968	0.98	0.984	0.988	0.996	1.001	8.10
	3.0	0.923	0.947	0.963	0.975	0.979	0.985	0.992	0.998	8.13

기준」에서는 시간수의 3배 이상의 모드를 고려하도록 하고 있으며, 또한 해석모형의 정확도를 확보하기 위하여 질량 기여도의 합은 90% 이상을 확보하도록 하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 70개의 모드를 고려하여 해석을 실시하였다.

라이즈 비가 0.1에서 0.4까지 증가할 때 교축방향, 교축직각방향 고유주기는 증가하는 결과를 보였다. 또한, Tie Girder에 의한 상·하 분배비율이 1.0에서 3.0까지 증가할 때 교축방향, 교축직각방향 고유주기는 감소하는 결과를 보였다. 즉, 고유주기가 증가함은 낮은 진동수를 갖는 장주기 특성으로 지배진동주기 5 초로서 높은 구조물에 피해를 주며, 고유주기가 감소함은 높은 진동수를 갖는 단주기 특성으로 지배진동주기 0.5초로서 낮은 구조물에 피해를 준다는 것을 의미한다. 라이즈 비 증가에 따른 고유주기의 증가와 상·하 분배비율 증가에 따른 고유주기의 감소 원인은 구조물의 질량( $m$ )과 강성도( $k$ )에 관련되는 구조물 자유진동의 고유진동수( $\omega$ )로부터 정의되는 고유주기( $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$ )때문으로 판단된다.<sup>(10),(12)</sup> 교축방향, 교축직각방향 고유주기는 라이즈 비 0.4, 상·하 분배비율 1.0일때 2.172sec, 1.004sec로 분석되었다. 이와같이 라이즈 비는 작은 값을, 상·하 분배비율은 큰 값을 갖도록 선정하면, 교축방향, 교축직각방향의 고유주기는 감소하여 단주기 특성을 갖으며, 라이즈 비를 큰 값으로, 상·하 분배비율을 작은 값을 갖도록 선정하면 고유주기는 증가하여 장주기 특성을 갖는다는 것을 의미한다.

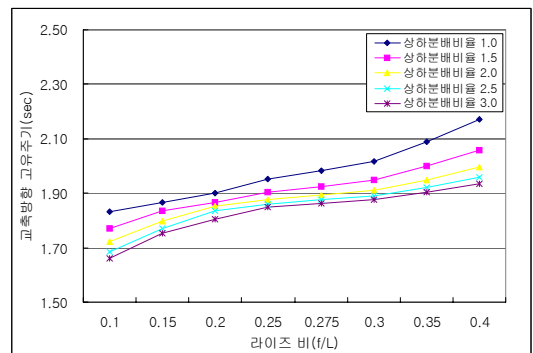


Fig. 5 교축방향 고유주기

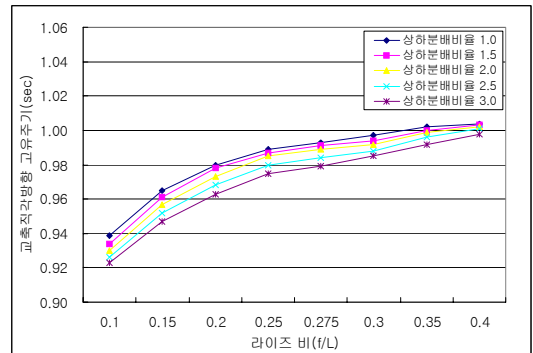


Fig. 6 교축직각방향 고유주기

라이즈 비에 따른 교축방향, 교축직각방향 고유주기 증감율은 라이즈 비 0.1을 기준치로 라이즈비 0.15에서 0.4까지 상호 비교하여 산정하였고, 최대증감율은 라이즈 비 0.4에서 가장 크게 발생하였다. 또한 상·하 분배비율에 따른 교축방향, 교축직각방향 고유주기

의 증감율은 상·하 분배비율 3.0에서 가장 크게 발생하였다. 라이즈 비에 따른 교축직각방향과 교축방향 고유주기 증감율을 비교해 보면 교축직각방향 고유주기 증감비가 2.3배 정도 교축방향보다 작게 나타났다. 이는 라이즈 비 변화에 따른 고유주기는 교축직각방향보다는 교축방향에 더 큰 영향을 미치고 있음을 의미한다. 상·하 분배비율에 따른 교축직각방향과 교축방향 고유주기 증감율을 비교해 보면 교축직각방향 고유주기 증감비가 5.8~8.5배 정도 교축방향보다 작게 나타났다. 이는 상·하 분배비율 변화에 따른 고유주기는 교축직각방향보다는 교축방향에 더 큰 영향을 미치고 있음을 의미한다. 라이즈 비와 Tie Girder에 의한 상·하 분배비율 변화에 따른 교축방향과 교축직각방향의 누적질량기여도를 고찰하여 보면 교축방향으로는 Mode No 2에서, 교축직각방향으로는 Mode No 4에서 누적질량기여도가 90%이상 확보되었다. 라이즈 비가 증가함에 따라 교축방향과 교축직각방향에 대한 누적질량기여도는 점차 증가하는 것으로 나타났다. 또한 상·하 분배비율이 증가함에 따라 교축방향과 교축직각방향에 대한 누적질량기여도도 점차 증가하는 것으로 나타났다.

### 3.3 수정설계단면력의 변화

3경간 연속 중로식 아치교량의 라이즈 비와 Tie Girder에 의한 상·하 분배비율이 내진안정성에 미치는 영향을 검토하기 위하여, 라이즈 비를 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4의 8가지 Type으로 변화시켰고, 또한 각각의 라이즈 비에 대하여 Tie

Table 5 지진력 조합방법

하 중 경우	지진력 조합방법
하중경우 1	종 방향 탄성 지진력 100% + 30%
하중경우 2	종 방향 탄성 지진력 30% + 100%

Girder에 의한 상·하 분배비율을 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0의 5가지 Type으로 변화시켜 가면서 지진하중에 대한 고정지점인 교각 P<sub>2</sub>의 수정 설계단면력을 정량적으로 비교·분석하여 상호 관계를 고찰하였다. 교량의 모든 부재는 고정하중과 부속 시설물을 고려한 연직방향 자중과 수평방향 지진력이 조합된 설계하중에 저항하도록 설계되어야 하므로 설계 지진력은 Table 5와 같이 「도로교설계기준」에서 제시하고 있는 지진력 조합방법에 의하여 산출하였다. 또한, 현재 「도로교설계기준」에서 제시된 지진구역계수 0.07, 0.11과 위험도계수 1.0, 1.4에 대한 각각의 경우를 조합하여 가속도계수(A)를 구한 후 지진하중을 비교·검토했다. 응답수정계수(R)은 3을 적용하였고, 해석결과 산출된 지진력중 모멘트만을 응답수정계수로 나누어 산출하였다. 지진하중에 가장 큰 영향을 받는교량 부위는 고정지점이라는 기존의 연구결과<sup>(2)</sup>에 의하여 고정지점인 교각 P<sub>2</sub>에 대한 수정 설계단면력을 정량적으로 비교·분석하여 상호관계를 고찰하였다. 하중경우 1은 교축방향이 지배적이고, 하중경우 2는 교축직각방향이 지배적임을 의미한다. Fig. 7~ Fig. 10은 라이즈 비가 0.1에서 0.4까지 증가할 때 수정 설계 단면력(V, M)이 감소하는 결과를 보였다.

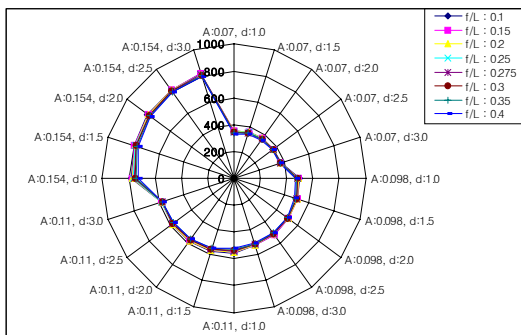


Fig. 7 ( 1 )

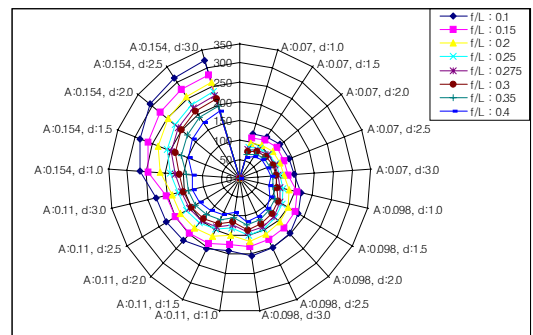


Fig. 8 ( 2 )

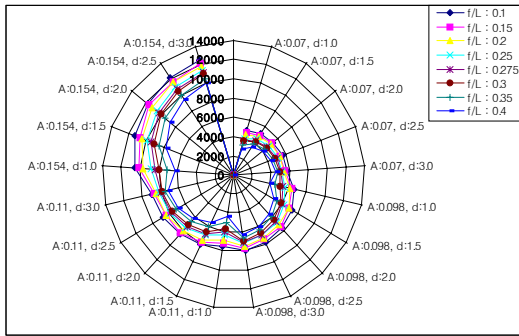


Fig. 9 ( 1 )

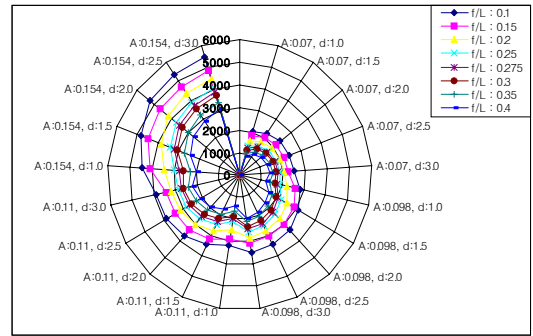


Fig. 10 ( 2 )

즉 라이즈 비가 증가할수록 지진하중에 대한 동적 안정성은 향상된다는 것을 의미한다. 또한, 상·하 분배 비율이 1.0에서 3.0까지 증가할 때 수정 설계단면력은 증가하는 결과를 나타냈다. 즉, 상·하 분배비율이 증가할수록 지진하중에 대한 동적 안정성은 불리함을 의미한다.

가속도계수가 0.07에서 0.154까지 증가할 때 수정 설계단면력은 증가하는 결과를 보였다. 즉 가속도계수가 증가할수록 지진하중에 대한 동적안정성은 불리함을 의미한다. 최대 수정 설계단면력은 하중경우 1, 2와 모든 가속도계수에서 라이즈 비 0.4, 상·하 분배비율 3.0일때 발생하였다. 가속도 계수 0.07, 하중경우 1일때 최대 수정 설계전단력은 371.61tonf, 최대 수정 설계휨모멘트는 5619.13tonf·m로 분석되었으며, 가속도 계수 0.07, 하중경우 2일 때 최대 수정 설계전단력은 144.19tonf, 최대 수정 설계휨모멘트는 2481.79tonf·m로 분석되었다. 가속도계수 0.07일때 하중경우 1, 2에 대한 최대 수정 설계단면력을 비교해 보면, 하중경우 2일때 수정 설계전단력은 하중경우 1일때 수정 설계전단력보다도 2.58배 정도 작게 나타났다. 또한 하중경우 2일때 수정 설계휨모멘트는 하중경우 1일때 수정 설계휨모멘트보다 2.26배 정도 작게 나타났다. 이는 수정 설계단면력이 하중경우 2 보다는 하중경우 1에 더 큰 영향을 미치므로 하중경우 1이 지배적임을 의미하고, 또한 하중경우 2의 수정 설계단면력에는 거의 영향을 주지 못함을 의미한다.

따라서, 3경간 연속 중로식 아치교량의 수정 설계 단면력을 고려한 라이즈 비 선정시 라이즈 비는 큰 값

을, Tie Girder에 의한 상·하 분배비율과 가속도계수는 작은 값을 가지도록 선정하는 것이 동적안정성 측면에서 바람직할 것으로 판단된다. 또한 수정 설계 단면력은 하중경우 2보다도 하중경우 1이 지배적인 것으로 밝혀졌다.

Table 6, 7에서 “증감율”은 라이즈 비 0.1, 상·하 분배비율 1.0의 수정 설계 단면력 값을 “100”으로 평가할 때 기타 해석 결과의 수정 설계단면력 값을 “100”에 대해 환산한 값이다. Fig. 7은 하중경우 1일때 라이즈 비, 상·하 분배비율, 가속도 계수의 증가에 따른 수정 설계 전단력은 5.27%~9.38%가 증가하여 동적안정성에 불리한 영향을 주고 있지만, Fig. 8~Fig. 10과 같은 경우보다는 수정 설계단면력에 큰 영향을 미치지 못하고 있다. 하중경우 1일 때 수정 설계전단력은 라이즈 비 선정시 지진하중에 대한 동적안정성을 별도로 고려하지 않아도 될 것으로 판단된다.

Table 6 수정설계단면력의 증감율

구분	상·하 분배비율	수정설계 단면력 증감율(%)		비고
		전단력	휨모멘트	
하중 경우 1	1.0	-6.15	-40.82	* 라이즈 비 변화에 따른 수정설계 단면력 증감율 (0.07)
	1.5	-4.60	-31.46	
	2.0	-0.35	-25.55	
	2.5	-2.80	-22.18	
	3.0	-2.50	-19.40	
하중 경우 2	1.0	-52.74	-56.17	
	1.5	-47.86	-50.68	
	2.0	-46.88	-48.65	
	2.5	-44.91	-46.05	
	3.0	-43.08	-43.92	

Table 7 수정설계단면력의 증감율

구분	라이즈비 (f/L)	수정설계 단면력 증감율(%)		비고
		전단력	휨모멘트	
하중 경우 1	0.1	5.28	18.11	*상·하 분배비율 에 따른 수정설 계단면력 증감율 (0.07)
	0.15	5.27	20.27	
	0.2	5.65	22.52	
	0.25	6.39	29.48	
	0.275	6.73	33.37	
	0.3	7.17	37.75	
	0.35	8.15	47.97	
	0.4	9.38	60.85	
하중 경우 2	0.1	20.10	22.61	
	0.15	15.32	19.15	
	0.2	23.22	29.40	
	0.25	28.48	36.52	
	0.275	30.98	39.80	
	0.3	33.57	43.17	
	0.35	38.32	49.42	
	0.4	44.64	56.87	

그러나 Fig. 8~Fig. 10과 같은 경우에는 라이즈 비, 상·하 분배비율, 가속도계수의 증가는 수정 설계단면력에 크게 영향을 미치고 있으므로 라이즈 비 선정시 지진하중에 대한 동적안정성을 필히 고려하여야 할 것으로 판단된다.

### 3.4 정적 풍하중 검토

정적 풍하중에 대한 해석은 「도로교설계기준」에서 제안된 식에 의하여 풍하중 R(kgf)를 구하고 이를 모델링 교량에 적용하였다. 식 (1)에서  $C_d$ 는 「도로교설계기준」에서 제안된 기타형식의 교량으로 분류하여 풍상측과 풍하측에 각각 1.6 및 0.8을 적용하였으며, 풍하측 부재에 작용하는 풍하중은 항력계수( $C_d$ )가 0.8이므로 식 (1)에 의하여 산정한 P값의 1/2을 적용하였다. 또한 설계기준 풍속( $V_d$ )은 식 (2)에 의하여 다음과 같이 구하였다.

$$P = \frac{1}{2} \rho V_d^2 C_d G \quad (1)$$

$$V_d = 1.925 \left( \frac{Z}{Z_G} \right)^a \times V_{10} \quad (2)$$

정적 풍하중에 대한 안정성 검토 결과 라이즈 비가

Table 8 정적 풍하중 수평반력의 증감율

교각	상·하 분배비율	수평반력최대 증감율(%)	교각	상·하 분배비율	수평반력최대 증감율(%)
1.5	298.59	1.5	15.52		
2.0	284.04	2.0	21.08		
2.5	263.47	2.5	26.79		
3.0	246.73	3.0	31.40		
P <sub>2</sub>	1.0	9.89	F <sub>4</sub>	1.0	332.25
	1.5	11.29		1.5	322.02
	2.0	14.90		2.0	300.32
	2.5	21.36		2.5	274.83
	3.0	25.87		3.0	250.12

0.1에서 0.4까지 커질수록 지점부 교축직각방향 수평반력은 커짐을 알 수 있었다. 라이즈 비 변화에 따른 풍하중에 의한 단면력의 변화는 상대적으로 크게 나타났다. 이렇듯 라이즈 비 증가에 따른 대상 교량의 반력 증가율이 지진하중에 비해 차이를 보이는 이유는 지진하중에 의해 발생하는 대상 교량의 단면력은 질량과 관련되어 있는 반면 풍하중에 의한 지점부 수평반력은 대상교량의 높이 즉, 라이즈 비와 직접적인 관련이 있기 때문이라 사료된다. 따라서 자중에 의한 라이즈 비 선정 후 대상 교량의 풍하중에 의한 정확한 거동 파악을 위해 별도로 안정성 검토가 필요할 것으로 판단된다.

### 4. 결론

본 연구에서는 최근 중요시되고 있는 지진하중에 대한 동적안정성 문제를 라이즈 비 결정인자로 추가하여, 라이즈 비 변화에 따른 수정 설계단면력과의 관계를 검토하므로써, 라이즈 비가 동적안정성에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 동적안정성을 고려한 3경간 연속 중로식 강아치 교량의 라이즈 비와 Tie Girder에 의한 상·하 분배비율을 선정하기 위한 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 강재량과 강중을 고려한 라이즈 비 선정시 라이즈 비는 작은 값을, Tie Girder에 의한 상·하 분배비율은 큰 값을 가지도록 선정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 그러나 상·하 분배비율이 증가함에 따라 0.45~2.28%의 강중만이 감소하여 상·하



분배비율의 증가는 강중에 크게 영향을 주지 못하였다. 또한 강중은 라이즈 비 증가에 따른 고유주기 증가와 상하 분배비율 증가에 따른 고유주기의 감소 원인으로 판단된다

- 2) 라이즈 비는 작은 값을, Tie Girder에 의한 상하 분배비율은 큰 값을 갖도록 선정하면, 교축방향, 교축직각방향의 고유주기는 감소하여 단주기 특성을 갖으며, 라이즈 비 변화에 따른 고유주기는 교축직각방향 보다는 교축방향에 더 큰 영향을 미치고 있었다. 또한 상하 분배비율 변화에 따른 교축직각방향 고유주기 증감비가 교축방향보다 5.8~8.5배 적게 나타나 교축방향에 더 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.
- 3) 수정 설계단면력을 고려한 라이즈 비 선정시 라이즈 비는 큰 값을, Tie Girder에 의한 상하 분배비율과 가속도계수는 작은 값을 가지도록 선정하는 것이 동적 안정성 측면에서 바람직할 것으로 판단되며, 라이즈 비 선정시 지진하중에 대한 동적안정성은 필히 고려되어야 할 것으로 판단된다. 또한 수정 설계단면력은 하중경우 1이 하중경우 2보다도 지배적이었다.
- 4) 정적 풍하중에 대한 안정성 검토 결과 라이즈 비가 0.1에서 0.4까지 커질수록 지점부 교축직각방향 수평반력은 커지며, 라이즈 비 변화에 따른 풍하중에 의한 단면력의 변화는 상대적으로 크게 나타났다. 따라서, 자중에 의한 라이즈 비 선정 후 대상 교량의 풍하중에 의한 정확한 거동 파악을 위해 별도로 안정성 검토가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 3경간 연속 중로식 강아치 교량의 동적 안정성에 영향을 미치는 많은 변수들을 생략한 상태에서 라이즈 비와 상하 분배비율만을 고려하여 제한된 해석을 실시하였다. 향후 보다 정확하고 일반적인 라이즈 비와 Tie Girder에 의한 상하 분배비율을 선정하기 위해서는 다양한 변수들을 고려한 추가적인 해석적 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 김용희, 이윤영, 이영재, “아치타입 교량의 라이즈/경간 비의 적절성에 대한 연구”, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp 1~5, 2001.
2. 국승규, “아치교의 내진설계”, 한국지진공학회 1997년도 춘계학술대회 논문집, pp 101~106, 1997.
3. 고재현, “지반강성을 고려한 아치교량의 내진해석”, 동아대학교 대학원 석사학위논문, 2000.
4. 권영환, 정원목, 이승재, “단층 래티스돔의 좌굴특성에 관한 연구-라이즈 비의 영향”, 한국전산구조공학회가을학술발표회 논문집, pp. 127-132. 1992.
5. 박정용, 유제승, 오성덕, “Unbraced Tubular 아치교에서 리브의 기울기에 따른 단면력에 관한 연구”, “대한토목학회 학술발표회 논문집”, pp. 1629-1633. 2003.
6. 이윤성, “전단행렬법에 의한 변단면 ARCH교의 Rise-Span비에 관한 연구”, 중앙대학교 석사학위논문, 1993.
7. 송진원, “랭거 아치교에서의 지간과 형고와의 관계에 관한 연구”, 건국대학교 석사학위 논문, 2001.
8. 장은화, “랭거 아치교의 Rise-Span 비의 최적화”, 건국대학교 대학원 석사학위논문, 2000.
9. 정철호, “동적안정성을 고려한 아치교량의 라이즈 비에 관한 연구”, 동신대학교 석사학위논문, 2004.
10. 한국도로공사, “고속도로 교량의 내진설계 지침”, 한국도로공사, 1996.
11. 한국전산구조공학회, “교량의 내진설계”, 한국전산구조공학회, 1998.
12. 한국전산구조공학회, “구조물의 내진설계”, 한국전산구조공학회 기술강습회 교재 15-1, 1997.
13. Hambly, E. C., "Bridge Deck Behaviour" E & FN SPON, 1991.
14. Kazuhiro Nishikawa & Satoshi Yamamoto, "Retrofitting for Seismic Upgrading of Steel bridge column", Elsevier Science, 1997.
15. Melbourne, C., "Arch Bridges", Thomas Telford, 1995.
16. MIDAS CIVIL Program Manual, MIDAS Home Page.

(접수일자 : 2004년 6월 30일) (급행)